

레이다를 이용한 토양 수분함유량 측정에서 초목 층의 영향 분석

Effect of Vegetation Layers on Soil Moisture Measurement Using Radars

박 신 명 · 오 이 석

Sinmyong Park · Yisok Oh

요 약

본 논문에서는 초목 층 산란모델과 지표면 산란 모델을 이용하여 초목 층에서 수분함유량 측정에 초목 층과 레이다 파라미터가 갖는 영향에 대하여 분석하였다. 1st-order RTM(Radiative Transfer Model)을 이용하여 여러 상태의 초목 층 밀도와 입사각, 주파수, 편파를 갖는 데이터베이스를 생성하고, WCM(Water Cloud Model)과 Oh 모델을 이용하여 후방산란계수로부터 지표면 수분함유량을 추출하였다. 수분함유량 추출 에러를 예측하기 위해 추출한 수분함유량과 RTM의 입력 변수인 수분함유량을 비교하였다. 수분함유량 추출 에러로부터 초목 층에서의 수분함유량 측정에서 초목 층 밀도와 입사각, 주파수, 편파에 따른 초목 층과 레이다 파라미터의 영향을 분석하였다.

Abstract

This paper presents the effect of vegetation layer and radar parameters on soil moisture measurement using the vegetation layer scattering model and surface scattering model. The database of backscattering coefficients for various vegetation layer densities, incidence angles, frequencies, and polarizations is generated using 1st-order RTM(Radiative Transfer Model). Then, surface soil moisture contents were estimated from the backscattering coefficients in the database using the WCM(Water Cloud Model) and Oh model. The retrieved soil moisture contents were compared with the soil moisture contents in the input parameters of the RTM to estimate the retrieval errors. The effects of vegetation layer and radar parameters on soil moisture measurement are analyzed using the retrieval errors.

Key words: Vegetation Layer, First-Order Radiative Transfer Model(RTM), Soil Moisture Retrieval, Water-Cloud Model(WCM)

I. 서 론

최근 지구환경에 대한 관심이 많아지면서 지표면의 수분함유량에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 기상이변으로 인한 가뭄과 홍수가 지속되면서 가뭄 지표 개발과 홍수 모니터링에 대한 필요성이 제기되고 있으며, 토양수분함유량은 폭우, 홍수, 육지에서 증발되는 수분량을 나타내는 지표로 사용되고 있다. 또한, 2015년 1월에는

NASA의 SMAP(Soil Moisture Active/ Passive) 위성이 토양 수분함유량만을 측정하기 위해 발사되었다^[1]. 초목 층이 있는 경우, 레이다 데이터에서 지표면의 수분함유량을 정확하게 추출하는 연구도 진행되고 있지만, 여전히 해결해야 하는 여러 문제들을 가지고 있다^[2]. 초목 층에서의 토양수분함유량 측정은 주로 초목 층의 산란 개체(scattering particles)와 입사각, 주파수, 편파 등의 레이다 파라미터에 의해 영향을 받는다. 따라서 초목 층에서 수분함유량을

「이 논문은 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단 기초연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013R1A1A20053336).
홍익대학교 전자정보통신공학과(Department of Electronic Information and Communication Engineering, Hongik University)
· Manuscript received September 23, 2015 ; Revised November 18, 2015 ; Accepted July 8, 2016. (ID No. 20150923-05S)
· Corresponding Author: Yisok Oh (e-mail: yisokoh@hongik.ac.kr)

정확하게 측정하기 위해서는 위 요인들이 갖는 영향을 분석해야 한다.

본 논문에서는 초목 층이 토양 수분함유량 측정에 끼치는 영향을 분석하기 위해 여러 경우의 레이더 후방산란 계수를 계산하였으며, WCM(Water Cloud Model)^[3]과 Oh model^[4]을 이용하여 지표면의 수분함유량을 추출하였다. WCM은 산란체의 모양을 구(sphere)로 단순화하여 계산이 간단하므로 토양산란 항을 inversion으로 구해내기 쉽고, Oh 모델은 초목이 없는 토양에서의 후방산란 예측 및 토양수분함유량 추출 모델이다. 후방산란계수에서 추출한 수분함유량과 입력변수인 수분함유량을 비교하여 수분함유량 측정에서 초목 층이 갖는 영향을 분석하였다.

II. 후방산란계수 데이터 생성 및 의존도 확인

초목 층이 있는 표면은 초목 층과 초목 층 아래에 있는 지표면으로 이루어져 있다. 초목 층이 있는 표면에서의 후방산란계수는 초목 층에서의 직접 산란, 거친 표면에서의 직접 산란, 초목 층과 지면사이의 다중 산란으로 형성된다. 초목 층은 손실이 있는 유전체 원판과 원기둥으로 나타낼 수 있다^[5]. 초목 층의 영향을 분석하기 위해 1st-order RTM(Radiative Transfer Model)을 이용하여 여러 잎 면적 계수(LAI; Leaf-Area-Index), 입사각, 지표면의 수분함유량, 주파수, 편파에 대한 데이터베이스를 생성하였다. 표 1은 RTM 시뮬레이션을 위한 입력 변수를 보여준다.

그림 1은 주파수 5.3 GHz, 입사각이 40°인 경우, 두 개의 다른 수분함유량에서 LAI 변화에 따른 후방산란계수를 보여준다(여기서 입사각 θ_i 는 정점(zenith)에서의 수직 각도임). 잎 면적 계수의 증가에 따라 두 개의 다른 토양 수분함유량에 따른 후방산란계수의 차가 작아지는 것을 볼 수 있는데, 이는 잎 면적 계수가 낮은 경우 토양 수분함유량 측정에서의 오차가 감소한다는 것을 의미한다.

그림 2는 주파수 5.3 GHz에서 HPS(Hongik Polarimetric Scatterometer)를 이용하여 옥수수 밭에서 측정한 결과와 RTM을 이용한 시뮬레이션 결과 비교를 보여준다. 측정 데이터와 산란모델의 시뮬레이션 결과가 잘 맞는 것을 확인할 수 있다. 입사각이 낮은 경우에는 지표면으로부터의 후방산란이 가장 강한 반면, 입사각이 증가할수록 초

표 1. 산란모델 입력 변수

Table 1. Input parameters of the scattering model.

입력변수	범위	간격
LAI	0.25~8	0.25
입사각(°)	10~80	10
지표면 수분함유량(cm ³ /cm ³)	0.03~0.35	0.02
주파수(GHz)	1.25, 5.3, 9.6	
편파	vv, hh	

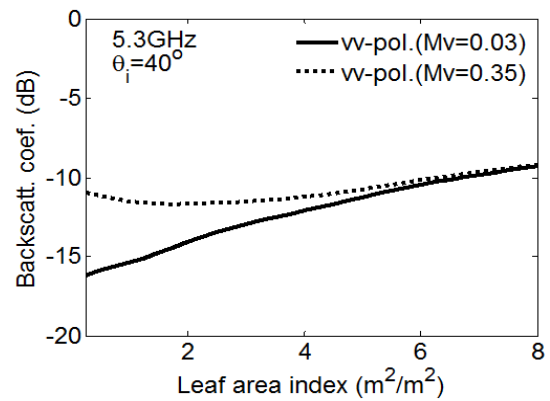


그림 1. 다른 수분함유량에서의 후방산란계수

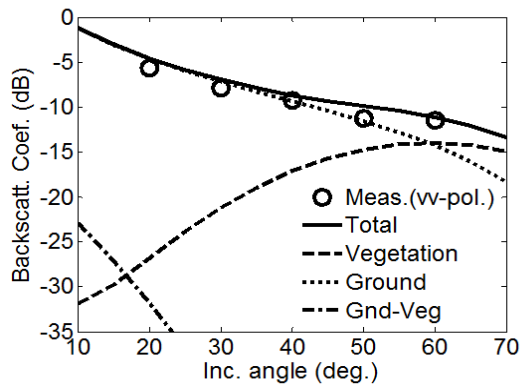
Fig. 1. Backscattering coefficient for different soil moisture values.

목 층에서의 후방산란이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 따라서 초목 층에서의 수분함유량 측정은 낮은 입사각에서 가능하다.

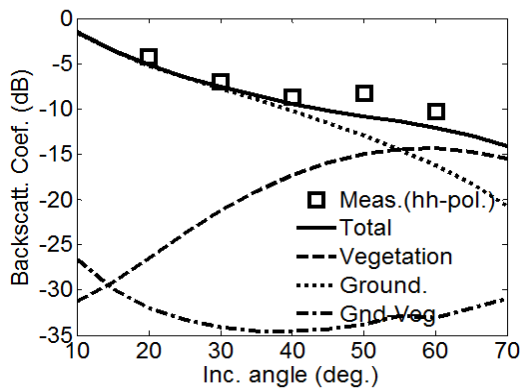
III. 토양 수분함유량 추출 유효 영역

WCM과 Oh model을 이용하여 토양에서의 후방산란계수를 계산하고, 계산된 후방산란계수와 Oh model과 juxtaposition/possibility 기법을 이용하여 수분함유량을 추출하였다^[6]. 여기서 juxtaposition/possibility 기법은 두 개 또는 그 이상의 데이터에서 RMS 높이를 수분함유량 범위를 보여주는 선을 이용하여 수분함유량을 추출하는 알고리즘이다.

그림 3(a)~(c)는 각각 L-, C-, X-밴드에서 추출한 수분함유량과 입력변수 수분함유량으로부터 계산한 수분함



(a) vv-편파
(a) vv-polarizations



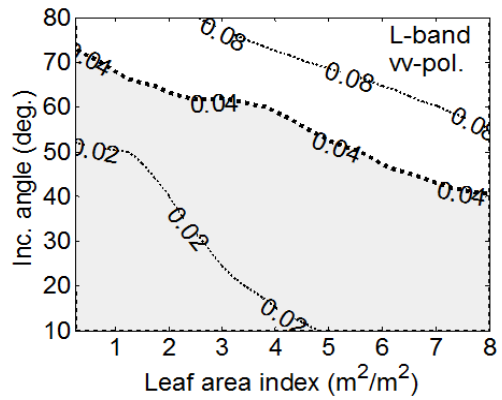
(b) hh-편파
(b) hh-polarizations

그림 2. 측정데이터와 산란모델 시뮬레이션 결과 비교
Fig. 2. Comparison between measurement data and simulation results.

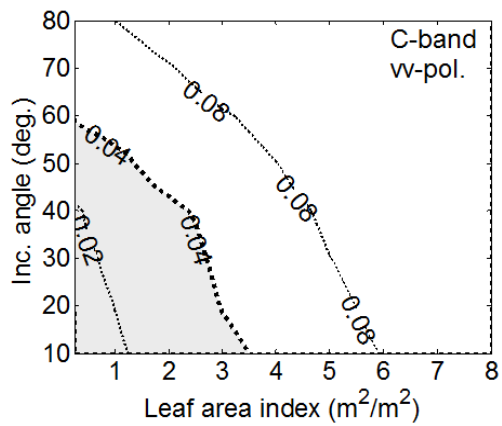
유량 추출 오차영역을 나타낸다. NASA SMAP 팀에서 기준으로 삼은 수분함유량 에러 $\pm 0.04 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 보다 적은 범위를 표현하였다. 앞 절에서 확인한 바와 같이, 입사각이 낮고 LAI가 낮을수록 수분함유량 추출 오차가 작은 것을 확인할 수 있다.

그림 3(a)에서 L-밴드의 경우, 전파 파장이 길어 LAI에 따른 유효영역이 C-, X-밴드보다 넓은 것을 볼 수 있다. 그림 3에서 L-, C-, X-밴드에서 LAI가 매우 낮은 경우에는 입사각이 약 70° 에서도 수분함유량 추출 오차가 작은 것을 볼 수 있으며, LAI가 2보다 작은 경우에는 초목 층에서의 감쇠가 적어 지표면의 영향이 강함을 볼 수 있다.

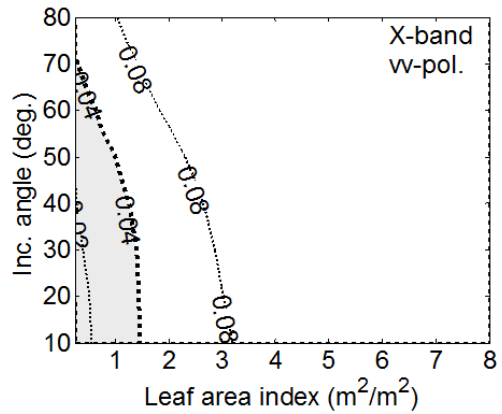
그림 4는 X-밴드 SAR(Synthetic aperture radar) 위성인



(a) L-밴드
(a) L-band



(b) C-밴드
(b) C-band



(c) X-밴드
(c) X-band

그림 3. 입사각과 LAI에 따른 수분함유량 추출 오차
Fig. 3. Soil moisture retrieval errors on various incidence angles and LAIs.

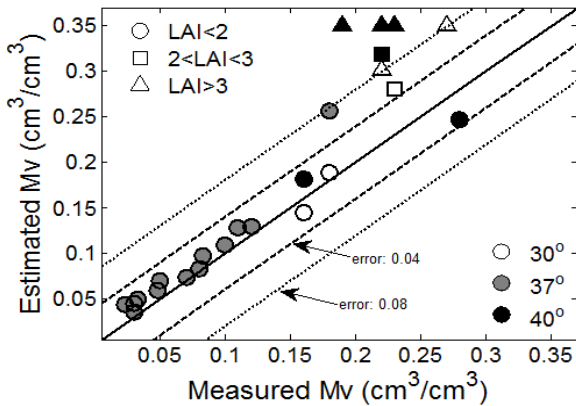


그림 4. 측정 수분함유량과 추출 수분함유량과의 비교
Fig. 4. Comparison between measured and estimated soil moisture.

COSMO-SkyMed 영상 데이터를 이용하여 지표면 수분함유량을 추출한 결과이다. 그림 2와 3에서 예측한 결과와 매우 잘 일치함을 확인할 수 있다. LAI가 2보다 작은 경우에는 입사각이 다소 높아도 수분함유량 추출 오차가 $0.04 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 미만으로 크지 않지만, LAI가 3 이상인 경우에는 입사각이 낮아도 수분함유량 추출 오차가 $0.08 \text{ cm}^3/\text{cm}^3$ 이상으로 수분함유량 추출 오차가 크게 발생함을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

레이다를 이용한 토양 수분함유량 측정에서 초목 층이 가지는 영향에 대해 분석하였다. RTM 모델을 이용하여 다양한 입력변수들에 대해서 후방산란계수 데이터베이스를 확보하였다. WCM을 이용하여 토양 산란을 계산하고, juxtaposition/possibility 기술과 Oh model을 이용하여 수분함유량을 추출하였다. 이 데이터를 이용하여 초목 층의 영향을 정량적으로 분석하였다. 입사각도, 앞면적지수, 주파수가 낮을수록 토양수분함유량 추출 오차가 적어지는 것을 확인했고, L-, C, X-밴드에서 입사각도, 앞면적

지수의 정량적인 유효범위를 보였다. 측정된 SAR 영상데이터를 이용하여 토양 수분함유량 추출 범위에 대한 연구 결과를 입증할 수 있었다.

References

- [1] H. McNair *et al.*, "The soil moisture active passive validation experiment 2012(SMAPVEX12): Prelaunch calibration and validation of the SMAP soil moisture algorithms", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 53, no. 5, pp. 2784-2801, May 2015.
- [2] F. T. Ulaby, P. C. Dubois, and J. Van Zyl, "Radar mapping of surface soil moisture", *Journal of Hydrology*, vol. 184, no. 1, pp. 57-84, Oct. 1996.
- [3] S. -K. Kweon, Y. Oh, "A modified water-cloud model with leaf angle parameters for microwave backscattering from agricultural fields", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 53, no. 5, pp. 2802-2809, May 2015.
- [4] Y. Oh, K. Sarabandi, and F. T. Ulaby, "Semi-empirical model of the ensemble-averaged differential Mueller matrix for microwave backscattering from bare soil surfaces", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 40, no. 6, pp. 1348-1355, Jun. 2002.
- [5] Y. Oh, S. -Y. Hong, Y. Kim, J. -Y. Hong, and Y. -H. Kim, "Polarimetric backscattering coefficients of flooded rice fields at L- and C-bands: Measurements, modeling, and data analysis", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 47, no. 8, pp. 2714-2721, Aug. 2009.
- [6] S. -K. Kweon, Y. Oh, "Estimation of soil moisture and surface roughness from single-polarized radar data for bare soil surface and comparison with dual- and quad-polarization cases", *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 52, no. 7, pp. 4056-4064, Jul. 2014.